

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2005/016813

International filing date: 13 September 2005 (13.09.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-359623
Filing date: 13 December 2004 (13.12.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 October 2005 (28.10.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 1 2 月 1 3 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 3 5 9 6 2 3

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 4 - 3 5 9 6 2 3

出 願 人
Applicant(s): 国立大学法人東北大学
株式会社東北テクノブレインズ

2 0 0 5 年 1 0 月 1 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

中 嶋



【書類名】	特許願
【整理番号】	KP160041
【提出日】	平成16年12月13日
【あて先】	特許庁長官 小川 洋 殿
【国際特許分類】	G03B 21/62
【発明者】	
【住所又は居所】	宮城県仙台市宮城野区高砂2丁目1番11号
【氏名】	内田 龍男
【発明者】	
【住所又は居所】	宮城県仙台市青葉区川内三十人町5-95
【氏名】	片桐 麦
【発明者】	
【住所又は居所】	宮城県仙台市若林区若林1-5-8
【氏名】	川上 徹
【発明者】	
【住所又は居所】	宮城県仙台市青葉区昭和町3-31
【氏名】	石鍋 隆宏
【特許出願人】	
【識別番号】	504157024
【氏名又は名称】	国立大学法人東北大学
【特許出願人】	
【識別番号】	592235008
【氏名又は名称】	株式会社東北テクノブレインズ
【代理人】	
【識別番号】	100099531
【弁理士】	
【氏名又は名称】	小林 英一
【持分の割合】	50/100
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	018175
【納付金額】	8,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 2】

入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 3】

入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、請求項 1 記載の構造と請求項 2 記載の構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 4】

前記拡散フィルムの入射光拡散角度領域と前記光出射方向変換フィルムの出射角度領域とがマッチングすることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 5】

斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層傾き角度が略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 6】

斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層長さが略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 7】

斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、請求項 5 記載の構造と請求項 6 記載の構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造、または請求項 5 記載の構造と請求項 6 記載の構造とが融合した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

【請求項 8】

請求項 1～7 のいずれかに記載の光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンと、該スクリーンへの入射光を発光するプロジェクタとを有し、該プロジェクタのプロジェクタ開口および配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなるプロジェクションディスプレイシステム光学系。

【請求項 9】

さらに前記プロジェクタからの発光を反射して前記スクリーンへ入射させる反射鏡を有し、該反射鏡の配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなる請求項 8 記載のプロジェクションディスプレイシステム光学系。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンおよびプロジェクションディスプレイシステム光学系

【技術分野】

【０００１】

本発明は、光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンおよびプロジェクションディスプレイシステム光学系に関する。

【背景技術】

【０００２】

リアプロジェクションディスプレイシステム光学系を薄型化するためには、例えば図１０に示すように、プロジェクタ２０をスクリーン光軸１０Ａ上に配置するのではなく、スクリーン光軸１０Ａからずれた位置に配置し、スクリーン１０に斜め方向からプロジェクタ光を入射させる必要がある。スクリーン１０に斜めから入射したプロジェクタ光の大部分は、一般的に、観察者が存在するスクリーン正面方向ではなく、プロジェクタ光の直進透過方向に強く拡散するから、前記薄型化を達成するためには、斜め方向からスクリーンに入射するプロジェクタ光の出射方向を正面方向に変換することが非常に重要となる。

【０００３】

このようなプロジェクタ光の方向変換を行うために、従来、例えば図１１に示すように、斜め方向から入射してくるプロジェクタ光２０Ａをプリズム３０に通し、プリズム界面における屈折４０および全反射５０のいずれか一方または両方を利用することにより出射方向を変換する技術が知られている（例えば非特許文献１参照）。

【非特許文献１】 Sh i k a m a , S . e t . a l . , S I D ' 0 2 D i g e s t ,
p . 1 2 5 0 - 1 2 5 3

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

前述のプリズムを用いたスクリーンでは、プリズムが有する複雑な界面においてプロジェクタ光の迷光が発生し画像にゴーストが生じるといった問題、および界面において外光がその入射側（観察者側）に反射（後方反射）されコントラスト比が低下するといった問題を有する。さらに加工精度の問題でプリズムの角が丸くなり、このためプリズムの角の部分でプロジェクタ光が拡散し出射方向変換効率が低下することからプロジェクタ光利用効率が低いといった問題、および斜め入射では主にプリズムの角の部分にプロジェクタ光が当たることから出射方向変換効率が入射角度に依存するため実質的に出射方向変換角度に限界が存在するといった問題を有する。

【０００５】

ここで、出射方向変換効率（または光出射方向変換効率）とは、光出射方向変換フィルムに対してある角度または角度領域から入射した光と、ある角度または角度領域に出射する光の強度の比であり、入射および出射の角度または角度領域は一般的にプロジェクタ光入射角度とスクリーン拡散特性によって決定される。また、出射方向変換角度とは、直進透過方向と光出射方向変換素子からの出射方向の差の絶対値である。

【０００６】

そこで、本発明は、複雑な界面に起因する画像のゴーストやコントラスト比の低下を生じさせることなく、かつ出射方向変換効率が高く、出射方向変換角度に限界を有さない光出射方向変換素子の実現を目標とし、それをスクリーンとして用いた薄型高品位プロジェクションディスプレイの提供を目指した。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意検討した結果、光導波路の原理を用い、入射光の伝播方向を、面内方向に層状に積層させた湾曲した光導波路内で変化させることで、

- 1) 迷光による画像のゴーストが生じない、
- 2) 後方反射が少ない、
- 3) 光出射方向変換効率が高い、
- 4) 出射方向変換角度に限界を有さない、
- 5) 入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を実現する光出射方向変換フィルムの構造に想到した。

【0008】

すなわち、本発明は以下のとおりである。

(発明項1) 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項2) 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項3) 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、発明項1記載の構造と発明項2記載の構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項4) 前記拡散フィルムの入射光拡散角度領域と前記光出射方向変換フィルムの出射角度領域とがマッチングすることを特徴とする発明項1～3のいずれかに記載の光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項5) 斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層傾き角度が略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項6) 斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層長さが略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項7) 斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、発明項5記載の構造と発明項6記載の構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造、または発明項5記載の構造と発明項6記載の構造とが融合した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

(発明項8) 発明項1～7のいずれかに記載の光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンと、該スクリーンへの入射光を発光するプロジェクタとを有し、該プロジェクタのプロジェクタ開口および配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングさ

れてなるプロジェクションディスプレイシステム光学系。

（発明項 9） さらに前記プロジェクタからの発光を反射して前記スクリーンへ入射させる反射鏡を有し、該反射鏡の配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなる発明項 8 記載のプロジェクションディスプレイシステム光学系。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、

- 1) 迷光による画像のゴーストが生じない、
- 2) 後方反射が少ない、
- 3) 光出射方向変換効率が高い、
- 4) 出射方向変換角度に限界を有さない、
- 5) 入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を実現する光出射方向変換フィルムおよび光出射方向変換拡散フィルムを実現することができ、それをスクリーンとして用い、プロジェクタおよび反射鏡の配置、プロジェクタの開口をスクリーンの開口に合わせることでにより高品位薄型プロジェクションディスプレイを提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

リアプロジェクションディスプレイシステム（略してリアプロ）では、システムを薄型にするために、例えば図 12 に示すように、光学エンジン（プロジェクタ）20 をスクリーン 10 の下側に配置し、鏡など（ミラー M1、M3、非球面ミラー M2）によって光の方向を変え、スクリーン 10 の下側からスクリーン法線に対し斜め方向からの結像を用いている。よって、このままでは光のエネルギーの中心方向がスクリーン上側に向いた拡散特性となるため、従来、図 11 に示したようにプリズム 30（プリズムシート）を用いて、光強度の中心方向をスクリーンの法線方向に向けるのが一般的である。

【0011】

しかし、プリズムシートを用いると、薄型リアプロの場合、屈折型と反射型を併用することによる特性のばらつきや、場所により異なるプリズム形状による製造の困難さがある。

これに対し、本発明では、従来のプリズムシートに代えて、図 1 に示すように、光導波路アレイをなす複数の層 1 がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有する光出射方向変換フィルム 2 を用いる。なお、3 は入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムであり、この拡散フィルム 3 と光出射方向変換フィルム 2 とでスクリーン 10 が構成される。

【0012】

光出射方向変換フィルム 2 内の光導波路 1 は、ステップインデックス型の光導波路、または、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型（例えばグラジエントインデックス型）の光導波路である。

図 2 は、湾曲した光導波路アレイがステップインデックス型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。光導波路 1 をなす屈折率 n_1 の層（コア）1A と屈折率 n_2 の層（クラッド）1B（ $n_1 > n_2$ ）がフィルム面内方向に互い違いに積層している。2X は残部（光導波路 1 以外のフィルム部分）である。層 1A、1B の境界は、フィルム面の法線に対して入射側で $\theta_{\text{bend-in}}$ 、出射側で $\theta_{\text{bend-out}}$ の角度だけ傾いている。かかるステップインデックス型の光導波路では、コア 1A に入射した光線 8 が層境界で全反射しつつコア 1A 内を光導波路 1 の曲がりに沿って伝播して、光強度の中心方向を $\theta_{\text{bend-out}}$ により決定される所望の方向（例えばフィルム面の法線方向）として出射するように設計することができる。

【0013】

なお、本発明において、光学系を記述する角度については、図 3 に示すように、基準方向（例えば水平方向）の角度を 0° とし、基準方向から左回転方向の角度を正（+）、右

回転方向の角度を負（－）とする。

図4は、湾曲した光導波路アレィが層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する層1Cがフィルム面内方向に積層して光導波路アレィをなしている。2Xは残部（光導波路1以外のフィルム部分）である。層1Cの境界は、フィルム面の法線に対して入射側で $\theta_{\text{bend-in}}$ 、出射側で $\theta_{\text{bend-out}}$ の角度だけ傾いている。かかる層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路では、層1Cに入射した光線8が層境界間を振幅とする波形を描くように屈折しつつ層1C内を光導波路1の曲がりに沿って伝播して、光強度の中心方向を $\theta_{\text{bend-out}}$ により決定される所望の方向（例えばフィルム面の法線方向）として出射するように設計することができる。

【0014】

1枚の光出射方向変換フィルムには、ステップインデックス型、および、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型のうち、いずれか一型の光導波路のみが存在してもよく、また、両型の光導波路がフィルム面内方向、フィルム厚さ方向のいずれか一方または両方に混在してもよい。なお、図5にはステップインデックス型の光導波路アレィと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレィとが、（a）フィルム厚さ方向に混在する例、および（b）フィルム面内方向に混在する例を示した。

【0015】

なお、本発明の開示中の図および解析では全てフィルム中に層を形成しない残部2Xを有する例を示しているが、これは光出射方向変換特性に直接寄与しない部分であり、残部2Xがない構造、または片側だけに存在する構造であっても同様に光出射方向変換特性を発現する。この場合も以下に示す解析と同様に層内部における光の伝播を考え、出射時における残部2Xでの屈折を計算することで同様に扱うことが可能である。また図では残部2Xは層厚み方向断面が三角形状であり、その一辺がフィルムの空気界面であるとしているが、上記と同様の理由によりこれ以外の構造（例えば残部2Xが非常に大きくフィルムの厚み方向の一部において層の存在しない領域が存在する等）であっても同様に扱うことが可能である。

【0016】

このように構成されたスクリーンでは、光学エンジンからの光を湾曲した光導波路内で反射あるいは屈折させながら、光強度の中心方向を $\theta_{\text{bend-out}}$ により決定される所望の方向（例えばスクリーン法線方向）へ向けることができる。これによれば、従来のプリズムシートのような、屈折型と反射型を併用することによる特性のばらつきや、場所により異なるプリズム形状による製造の困難さはなくなり、

- 1）迷光による画像のゴーストが生じない、
- 2）後方反射が少ない、
- 3）光出射方向変換効率が低い、
- 4）出射方向変換角度に限界を有さない、
- 5）入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を実現する光出射方向変換フィルムを実現することができる。

【0017】

もっとも、光出射方向変換フィルムの出射角度領域が、拡散フィルムの入射光拡散角度領域とマッチングしていないと、プロジェクタ光の一部が観察者の存在する方向に拡散されず、プロジェクタ光利用効率が低下することから、これらの角度領域はマッチングしていることが好ましく、少なくとも光出射方向変換フィルムの出射角度領域 θ_{out} の50%が拡散フィルム入射角度領域 $\theta_{\text{d-in}}$ に含まれている必要がある。

【0018】

また、光出射方向変換フィルムと組合わせて用いる拡散フィルムとしては、特に限定しないが、本発明者らが先に特願2004-267170号として提案したプロジェクションディスプレイ用スクリーンに用いる拡散フィルムが好ましい。

また、上記光出射方向変換フィルムは、ステップインデックス型の光導波路の層傾き角度、および/または、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路の層長さを略トップハット型に分布させることにより、略トップハット型の拡散光強度特性をもたせた光出射方向変換拡散フィルムとすることができる。

【0019】

この光出射方向変換拡散フィルムは、前記特願2004-267170号に記載した拡散フィルム内の光導波路を湾曲させた形態のものに相当する。

1枚の光出射方向変換拡散フィルムには、ステップインデックス型、および、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型のうち、いずれか一型の光導波路のみが存在してもよく、また、両型の光導波路がフィルム面内方向、フィルム厚さ方向のいずれか一方または両方に混在してもよい。

【0020】

また、1枚の光出射方向変換拡散フィルムは、上記両型の光導波路が融合した構造を有するものであってもよい。この構造は、層内の屈折率分布がステップインデックス型の屈折率分布関数と層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布関数とのいずれかであって、層傾き角度と層長さが共に略トップハット型のばらつき分布を有する湾曲層からなる構造である。

【0021】

この光出射方向変換拡散フィルムは、入射光を光導波路内で曲げながら拡散させる機能をもつから、これを前記光出射方向変換フィルム（拡散機能のない光出射方向変換フィルム）の代わりに用いることにより、別段の拡散フィルムを用いる必要がなくなり、スクリーンをこの光出射方向変換拡散フィルムのみで構成することができる。

本発明のスクリーンにおいて、光出射方向変換フィルムまたは光出射方向変換拡散フィルム内の光導波路をなす各層の厚さは、これが大きすぎると解像度の高い画像を伝播することができないため、一般的なプロジェクションディスプレイ投射画像の画素の大きさから考えて、 $500\mu\text{m}$ よりも小さいことが望ましい。

【0022】

また、光出射方向変換フィルムまたは光出射方向変換拡散フィルムのフィルム面は平面に限定されず、曲面であってもよい。曲面の場合はこれを微小な平面の集まりと考えることで同様に扱うからである。

本発明のスクリーンを用いてプロジェクションディスプレイシステム光学系を構成する場合、光学エンジンとの開口（＝開口数；Numerical Aperture；略号NA）のマッチングが重要である。光学エンジンのNAは、例えばリアプロジェクションディスプレイの場合について図1に示されるように、光学エンジン20のレンズの直径、焦点距離、結像倍率、結像位置によって決まるスクリーン後方からの入力光線の角度範囲を $2\theta_2$ （ $\equiv 2 \times \theta_2$ ）とすると、 $NA = \sin \theta_2$ で定義される。

【0023】

なお、実際のプロジェクションディスプレイシステム光学系では、例えば図12に示されるように、光学エンジンとスクリーンとの間に反射鏡やレンズ等の光学素子が配置されている場合が多いが、その場合にはその光学系を、図1あるいは図6のように1枚のレンズのみを用いた光学的に等価な形態に変換した図において同様に定義される。

図6に示すように、直径 d 、焦点距離 f のレンズの後方の距離 a の位置に置いた長さ S_1 の物体（プロジェクションディスプレイにおいては例えば液晶、DMD等の画像表示パネル）21から出た光がレンズを通過してレンズ前方の、 $1/a + 1/b = 1/f$ を満たす距離 b の位置に結像されたとすると、その像の長さ S_2 は、 $S_2/S_1 = b/a$ を満たし、かつ、レンズ中心軸から像の下端、上端までの距離をそれぞれ l_1 、 l_2 、レンズ上端と像下端、レンズ下端と像上端を結ぶ直線がそれぞれレンズ中心軸となす角度を θ_0 、 θ_1 とすると、NAに対応する角度範囲 $2\theta_2$ は次式で表される。

【0024】

$$2\theta_2 = \theta_1 - \theta_0 \quad \dots (0-1)$$

$$\tan \theta_1 = (l_2 + d/2) / b \quad \dots (0-2)$$

$$\tan \theta_0 = (l_1 - d/2) / b \quad \dots (0-3)$$

この角度範囲 $2\theta_2$ の光の全てを、湾曲した光導波路（以下、曲がり導波路という）で曲げることができなければ、スクリーンの光の利用効率が低下するだけでなく、曲がり導波路からもれた光は画像の解像度の低下につながる。よって、スクリーン後方からの入力光線の角度範囲 $2\theta_2$ と、曲がり導波路の NA に対応する角度範囲とのマッチングは、プロジェクションディスプレイシステム光学系の設計上、極めて重要なものとなる。

【0025】

そこで、曲がり導波路の NA の理論的導出について、以下に詳述する。

〔ステップインデックス型の曲がり導波路の NA〕

図 7 に、ステップインデックス光導波路曲線構造モデルを示す。曲がり導波路をなす屈折率 n_1 の層（コア） l_A と、 n_1 よりも小さい屈折率 n_2 の層（クラッド） l_B が互い違いに積層した構造である。コア l_A について、厚さを y_1 、曲率中心を O、内周側境界面の曲率半径を r_0 とする。モデルでは、入出力の NA を理解しやすくするために、光導波路の曲線構造部（C 部）の入口と出口に微小長さ Δz の直線構造部（L 部）を付加した。光導波路の外部は屈折率 n_{air} の空気層である。

【0026】

光線 5、6 は C 部のコア l_A を伝播できる光線のモードである。この二つのモードは、C 部のコア l_A のクラッド l_B との外周側境界面（外周境界）で臨界角 θ_C 、C 部のコア l_A のクラッド l_B との内周側境界面（内周境界）で $\theta_C + \theta_r$ で、全反射して伝播してゆくモードである。光線 5 は C 部の入口と出口の外周境界において臨界角 θ_C で全反射し、光線 6 は C 部の入口と出口の内周境界において $\theta_C + \theta_r$ で全反射して伝播する。

【0027】

光線 5 が外周境界の入口と出口でちょうど臨界角で全反射した場合、空気層へ出射する角は、図の θ_{in1} 、 θ_{out1} である。位置が少しずれた場合、出入口ちょうどの位置で全反射が起らないため、 $-\theta_{in1}$ 、 $-\theta_{out1}$ となる。よって、光線 5 のモードの NA は、 $\pm \theta_{in1}$ 、 $\pm \theta_{out1}$ で決まる。同様の議論を光線 6 のモードについて行くと、該モードの NA は、 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ で決まるといえる。

【0028】

ここで光線 5 に着目してみる。図では $+\theta_{in1}$ で入射してくる光線を描いているが、 $-\theta_{in1}$ で外周境界入口へ入射してくる光を考えてみる（ Δz は無限小）。外周境界入口へ入射したこの光は C 部のコア内を伝播できるが、入射位置を外周境界から内周境界へ移動させると、内周境界において臨界角 θ_C で全反射してゆくことになり、外周境界に達した時には臨界角 θ_C より小さな角で外周境界へ入射し、光はもはや全反射せずクラッドへ屈折してしまう。よって、光線 5 において出入口の外周境界位置の NA は、 $\pm \theta_{in1}$ 、 $\pm \theta_{out1}$ で決まるが、内周へ向かうにしたがって NA は減少し、内周境界位置では光線 6 の NA を決める角 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ と一致する。よって、この曲線構造の導波路を安全に伝播できる NA は、光線 6 の角 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ で決まるといえる。よって、スクリーン設計では、この角で議論する。

【0029】

次に、図 7 より、この角 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ の導出を行う。図 4 の $\triangle OAB$ に対し正弦定理を適用して、

$$r_0 / \sin \theta_C = (r_0 + y_1) / \sin \{\pi - (\theta_C + \theta_r)\} \quad \dots (1-1)$$

θ_C は臨界角であるので、コア、クラッドの屈折率 n_1 、 n_2 を用いて、

$$\theta_C = \sin^{-1}(n_2 / n_1) \quad \dots (1-2)$$

(1-1)、(1-2) 式より、

$$\theta_C + \theta_r = \sin^{-1}\{(n_2 / n_1) \times (1 + y_1 / r_0)\} \quad \dots (1-3)$$

よって、点 B で全反射している光線 6 の、空気層と光導波路との界面には、次式のスネル則が成立する。

【0030】

$$n_{air} \times \sin \theta_{in2} = n_1 \times \sin\{\pi/2 - (\theta_C + \theta_r)\} \quad \dots (1-4)$$

(1-3), (1-4)式より、 θ_{in2} ($= \theta_{out2}$) は次式で与えられる。

$$\theta_{in2} = \theta_{out2} = \sin^{-1} \{ (n_1/n_{air}) \times \cos\{\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1 + y_1/r_0))\} \} \quad \dots (1-5)$$

よって、図4に示すステップインデックス光導波路曲線構造モデルを入力位置によらず安全に伝播できる光の光軸に対する入出力角 θ_{NAstep} は、(1-5)式より、次式で与えられる。

【0031】

$$-\theta_{in2} (= -\theta_{out2}) \leq \theta_{NAstep} \leq +\theta_{in2} (= +\theta_{out2}) \quad \dots (1-6)$$

次に、図7のモデルが、屈折率 n_g のフィルムの中に形成された場合のNAを求める。

出力側はフィルム面に垂直であるため、(1-5)式の $\pm \theta_{out2}$ が出力のNAを決める。入力側は、図2，図4，図5での残部2X相当の、屈折率 n_g のプリズム(P部)が付加されることになる。このような状態を図8および図9に示す。図8ではC部の出入口の内周境界で全反射している光線6を、図9では全反射していない光線7を示した。また、理解しやすいように、図8のC部の出入口に長さ Δz のL部を付加した。実際は $\Delta z \rightarrow 0$ と考えてよい。

【0032】

まず、図8の θ_{in4} は、光線6について空気層とP部との境界面にスネル則を適用し、

$$n_{air} \times \sin(-\theta_{in4}) = n_g \times \sin(\theta_{bend} - \theta_{in3}) \quad \dots (1-7)$$

θ_{in3} は、図7において n_{air} に代えて n_g とした場合の θ_{in2} に相当するので、(1-5)式の n_{air} を n_g に変えることにより、

$$\theta_{in3} = \sin^{-1} \{ (n_1/n_g) \times \cos\{\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1 + y_1/r_0))\} \} \quad \dots (1-8)$$

(1-7), (1-8)式より、

$$-\theta_{in4} = \sin^{-1} \{ (n_g/n_{air}) \times \sin\{-\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1 + y_1/r_0)))) + \theta_{bend}\} \} \quad \dots (1-9)$$

次に、図9の θ_{in5} を求める。これは、(1-7)式、(1-9)式の θ_{bend} の前の符号を変えればよいので、(1-7)式、(1-9)式に対し、次の二式が成立する。

【0033】

$$n_{air} \times \sin(-\theta_{in5}) = n_g \times \sin(\theta_{bend} - \theta_{in3}) \quad \dots (1-10)$$

$$\theta_{in5} = \sin^{-1} \{ (n_g/n_{air}) \times \sin\{\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1 + y_1/r_0)))) + \theta_{bend}\} \} \quad \dots (1-11)$$

よって、まとめると、ステップインデックス光導波路曲線構造モデルフィルムの入射側のNAを決める角 $\theta_{NAstepin}$ と出射側のNAを決める角 $\theta_{NAstepout}$ は、次の二式で与えられる。

【0034】

$$\theta_{in4} \leq \theta_{NAstepin} \leq \theta_{in5} \quad \dots (1-12)$$

$$-\theta_{out2} \leq \theta_{NAstepout} \leq \theta_{out2} \quad \dots (1-13)$$

一方、図8、図9より、 $-\theta_{in4} \geq -90^\circ$ 、 $\theta_{in5} \leq 90^\circ$ であるから、(1-9), (1-11)式より、入射側の層傾き角度 θ_{bend} ($\theta_{bend-in}$ と記す) の条件は次式で表される。

$$|\theta_{bend-in}| \leq -\sin^{-1} \{ (n_1/n_g) \times \cos\{\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{in} + y_1)/(2 \times R_{in} - y_1))\} \} + \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (1-14)$$

ここで、 R_{in} は入射面付近のコア厚さ中心部の曲率半径 ($= r_0 + y_1/2$) である。

【0035】

出射側についても一般には 0° でない層傾き角度が存在するから、入射側と同様の議論により、出射側の層傾き角度 θ_{bend} ($\theta_{bend-out}$ と記す) の条件は次式で表される。

$$|\theta_{bend-out}| \leq -\sin^{-1} \{ (n_1/n_g) \times \cos\{\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{out} + y_1)/(2 \times R_{out} - y_1))\} \} + \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (1-15)$$

ここで、 R_{out} は入射面付近のコア厚さ中心部の曲率半径 ($= r_0 + y_1/2$) である。

【0036】

ところで、図7において、 $|\theta_C + \theta_r| > \pi/2$ であると、光線5が内周境界で全反

射することができないから、 $|\theta_c + \theta_r| \leq \pi/2$ 、がモデルの前提条件であり、この条件と(1-3)式とから、 $r_0 \leq n_2/(n_1 - n_2) \times y_1$ 、である。よって、曲がり導波路のコア厚さ中心部の曲率半径は、次式で与えられる最小曲率半径 R_{\minstep} 以上とする必要がある。

【0037】

$$R_{\minstep} = n_2/(n_1 - n_2) \times y_1 + y_1/2 = (n_1 + n_2)/(n_1 - n_2) \times (y_1/2) \quad \dots (1-16)$$

以上より、ステップインデックス型の曲がり導波路では、入射角度領域($\theta_{in-min} \sim \theta_{in-max}$)内の一入射角で曲がり導波路に入射した光は、その伝播方向を曲がり導波路内で徐々に変化させ、出射角度領域($\theta_{out-min} \sim \theta_{out-max}$)内の一射出角で出射する。ここに、 θ_{in-min} 、 θ_{in-max} 、 $\theta_{out-min}$ 、 $\theta_{out-max}$ は、次式で与えられる。

【0038】

$$\theta_{in-min} = \sin^{-1}[(n_g/n_{air}) \times \sin\{-\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{in} + y_1)/(2 \times R_{in} - y_1)))) + \theta_{bend-in}\}] \quad \dots (1-17)$$

$$\theta_{in-max} = \sin^{-1}[(n_g/n_{air}) \times \sin\{\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{in} + y_1)/(2 \times R_{in} - y_1)))) + \theta_{bend-in}\}] \quad \dots (1-18)$$

$$\theta_{out-min} = \sin^{-1}[(n_g/n_{air}) \times \sin\{-\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{out} + y_1)/(2 \times R_{out} - y_1)))) + \theta_{bend-out}\}] \quad \dots (1-19)$$

$$\theta_{out-max} = \sin^{-1}[(n_g/n_{air}) \times \sin\{\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{out} + y_1)/(2 \times R_{out} - y_1)))) + \theta_{bend-out}\}] \quad \dots (1-20)$$

上記図7～図9のモデルは、全ての光路に対する導波路入口から出口までのそれぞれの層境界を角度に急激な変化がない曲線であるとしている。この場合、入射光は拡散されず出射方向のみが変換される。一方、本発明では、前記層境界を角度が急激に変化する曲線であるとしてもでき、その場合、入射光の反射方向を層内部で変化させ、入射光の進行方向を変換しつつ拡散させることが可能である。なお本発明において特に説明なく「曲率半径を場所によりばらつかせ入射光を拡散させる」とした場合には層傾き角度が急激に変化する曲線である場合を指し、層傾き角度の急激な変化とは少なくとも $0.01 \text{ deg./}\mu\text{m}$ 以上の層傾き角度の変化である。

〔グラジエントインデックス型の曲がり導波路のNA〕

本発明者らの理論解析によれば、グラジエントインデックス型の曲がり導波路の曲線を折れ線で近似したとき、その近似による曲率半径の誤差は、曲がり導波路の幅(層厚さ)中心部の屈折率が一般的な光導波路のコア値と近い1.55のとき、高々1.3%程度と小さい。よって、以下では、折れ線近似モデルを用いてNAの導出を行う。

【0039】

折れ線近似モデルにおける直線部は、図13に示すような、層厚さ方向の屈折率分布が2次曲線：

$$n(r) = n_1 \times (1 - A/2 \times r^2) \quad \dots (2-1)$$

で表される直線型グラジエントインデックス光導波路4である。ここで、 r は層厚さ中心からの距離、 n_1 は中心軸上の屈折率である。 A は屈折率分布定数であり、 n_1 、層厚さ y_1 、層厚さ端の屈折率 n_2 により、

$$A = (8/y_1^2) \times (n_1 - n_2)/n_1 \quad \dots (2-2)$$

で表される。

【0040】

図示のように導波路の長さを z 、入力光線、出力光線の位置を r_1 、 r_2 、各位置での導波路内での光線方向を $r_1^* = dr_1/dz = \tan \theta_{in}$ 、 $r_2^* = dr_2/dz = \tan \theta_{out}$ とすると、入力光線、出力光線の位置と方向を表すベクトル (r_1, r_1^*) 、 (r_2, r_2^*) の間には次の(2-3)式が成り立つ。

【0041】

..... (2-3)

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{A} \times z) & \sin(\sqrt{A} \times z) / (n_1 \times \sqrt{A}) \\ -n_1 \times \sqrt{A} \times \sin(\sqrt{A} \times z) & \cos(\sqrt{A} \times z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_1^* \end{bmatrix}$$

【0 0 4 2】

(2-3)式において、 2×2 の行列項が単位行列の場合、入力光線と出力光線とで〔位置、方向〕ベクトルが同じとなる。このときの長さ z の最小解は導波路のピッチ P とよばれ、行列項の要素がサイン、コサインの関数であることから、

$$P = 2 \times \pi / \sqrt{A} \quad \cdots \cdots (2-4)$$

となる。

【0 0 4 3】

この直線型グラジエントインデックス光導波路のNAを決める角度は、該導波路を伝播できる光線と光軸（z軸）との角度のうち最大の角度で与えられる。この最大の角度は、図14に示すように、導波路の長さが $P/4$ 、入力光線、出力光線の〔位置，方向〕ベクトルが $(\pm y_1/2, 0)$ 、 $(0, r_2^*)$ である場合における出力光線と光軸との角度 θ_{NA0} （ y_1 が+のとき負、-のとき正）に相当する。この角度 θ_{NA0} は、(2-3)式に $r_2=0$ 、 $r_1=-y_1/2$ 、 $r_1^*=0$ 、 $z=P/4=\pi/(2\times\sqrt{A})$ を代入し、 $r_2^* (= \tan \theta_{NA0})$ について解くことで得られ、

$$\theta_{NA0} = \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A} \times y_1/2) \quad \dots (2-5)$$

となる。

【0044】

図15に折れ線近似モデルを示す。これは、上述の直線型グラジエントインデックス光導波路が、長さ $P/2$ の位置で角度 θ_{NA0}/n （ n は0.5以上の実数）だけ折れ曲がり、さらに光軸方向に $P/2$ だけ進んだ位置でまた θ_{NA0}/n だけ折れ曲がる構造が繰り返される折れ線型グラジエントインデックス光導波路によりグラジエントインデックス型の曲がり導波路を近似したものである。図中の光線15、16、17、18はこの折れ線型光導波路を伝播できる代表的な光線のモードを示している。なお、 n が0.5未満の場合は、光が導波路外へ出てしまうため、モデルの対象から除外する。

【0045】

光線17は1番目の直線型グラジエントインデックス光導波路4₁（以下、光導波路4₁という）の光軸と平行に光軸の位置に入射した光で、この光は光導波路4₁内を直進し、 $P/2$ 進んだ位置で $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いた2番目の直線型グラジエントインデックス光導波路4₂（以下、光導波路4₂という）へ入射することになる。よって、光導波路4₂への入射角は θ_{NA0}/n となる。各直線型グラジエントインデックス光導波路の長さは $P/2$ であるので、光導波路4₂の出射角は、光導波路4₂の光軸に対して $-\theta_{NA0}/n$ となる。3番目の直線型グラジエントインデックス光導波路4₃（以下、光導波路4₃という）は、2番目に対して $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いているため、光導波路4₃への光線7の入射角は 0° となり、光線17は光導波路4₃内を直進することになる。つまり、光線17は奇数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内を直進し、偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内では光軸に対する入射角： $+\theta_{NA0}/n$ から出射角： $-\theta_{NA0}/n$ まで進行方向を変えて曲がってゆくことになる。一方、光線16は、光線17の奇数番目と偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内の状態を入れ替えたモードを示している。

【0046】

この折れ線型グラジエントインデックス光導波路のNAを決める光線は、光線15と光線18である。

光線15は光導波路4₁を伝播できる最大入射角の光線である。よって、光導波路4₁への、導波路内への入射角は θ_{NA0} である。各直線型グラジエントインデックス光導波路の長さは $P/2$ であるので、光線15の光導波路4₁の出射角は $-\theta_{NA0}$ となる。光導波路4₂は光導波路4₁に対し $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いているため、光線15の、光導波路4₂の光軸に対する入射角は、 $-(1-1/n)\times\theta_{NA0}$ となる。この入射角の絶対値： $|(1-1/n)\times\theta_{NA0}|$ は θ_{NA0} より小さいため、光線15は光導波路4₂内を伝播できる。光導波路4₂の長さも $P/2$ であるので、光導波路4₂の光軸に対する出射角は、 $(1-1/n)\times\theta_{NA0}$ となる。次番目の光導波路4₃は、光導波路4₂に対して $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いているため、光導波路4₃に対する光線15の入射角は θ_{NA0} となり、光導波路4₁内の光の伝播状態と同じになる。よって、光線15は、奇数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内では入射角： θ_{NA0} から出射角： $-\theta_{NA0}$ へ方向を変え、偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内では入射角： $-(1-1/n)\times\theta_{NA0}$ から出射角： $(1-1/n)\times\theta_{NA0}$ へ方向を変え、伝播してゆくモードである。つまり、光線15で示したモードは、奇数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内で伝播できる最大の入射角となっているモードである。一方、光線18は、光線15の奇数番目と偶数番目の直線

型グラジエントインデックス光導波路内の状態を入れ替えたモードを示している。よって、この折れ線型グラジエントインデックス光導波路のNAは、光線15の入射角および出射角と、光線18の入射角および出射角の間の角によって決定される。

【0047】

そこで次に、このNAを求める。折れ線モデルを構成している直線型グラジエントインデックス光導波路の数を自然数kとすると、k番目の直線型グラジエントインデックス光導波路の光軸は、1番目のそれに対し、次式で表される角 θ_{bend} だけ曲がっていることになる。

$$\theta_{bend} = -(k-1) \times \theta_{NA0}/n \quad \dots (2-6)$$

k番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内の出射側NAを決める角 $\theta_{NA0}(k)$ は、図15より、

$$\theta_{bend} - \theta_{NA0} \leq \theta_{NA0}(k) \leq \theta_{bend} + (1 - 1/n) \times \theta_{NA0} \quad \dots (2-7)$$

であり、この式に(2-6)式を代入すると次式を得る。

【0048】

$$-\theta_{NA0}/n \times (k+n-1) \leq \theta_{NA0}(k) \leq -\theta_{NA0}/n \times (k-n) \quad \dots (2-8)$$

(2-6)、(2-7)、(2-8)式によって表される角の中に自然数kがあるため、離散的な角度定義となっているが、図15の折れ線近似モデルは、実際のフィルム内に存在する曲がり導波路の近似であり、図15の折れ線近似モデルの曲率中心でモデルをモデル全体を連続的に回転しても、モデルのNAは変化せず、NAは曲率半径と、(2-1)式で表される屈折率分布関数 $n(r)$ によって決まる。

【0049】

よって、(2-7)式中の θ_{bend} は、離散的な値でなく、連続的な値として扱ってよい。 θ_{bend} を連続的な値とした場合の折れ線近似モデルの光導波路内のNAを決める角 θ_{NA1} は次式で与えられる。

$$\theta_{bend} - \theta_{NA0} \leq \theta_{NA1} \leq \theta_{bend} + (1 - 1/n) \times \theta_{NA0} \quad \dots (2-9)$$

図15のモデルがフィルム中に形成された場合、右側の出射部に図16に示すように、図2、図4、図5での残部2X相当の、屈折率 n_g 、頂角 θ_{bend} のプリズム(P部)が付加されることになる。

【0050】

光線18について、光導波路44出射端とP部との界面、およびP部と空気層(屈折率: n_{air})との界面にスネル則を適用すると、それぞれ次の(2-10)、(2-11)式となる。

$$n_1 \times \sin \theta_{NA0} = n_g \times \sin \theta_{ng1} \quad \dots (2-10)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{bend} + \theta_{ng1}) = n_{air} \times \sin \theta_{out1} \quad \dots (2-11)$$

(2-10)、(2-11)式より、 θ_{out1} は次式で与えられる。

【0051】

$$\theta_{out1} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} + \sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0})\}] \quad \dots (2-12)$$

同様の解析を光線15について行くと、以下の三式が成立する。

$$n_1 \times \sin\{(1 - 1/n) \times \theta_{NA0}\} = n_g \times \sin \theta_{ng2} \quad \dots (2-13)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{bend} - \theta_{ng2}) = n_{air} \times \sin \theta_{out2} \quad \dots (2-14)$$

(2-13)、(2-14)式より

$$\theta_{out2} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} - \sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0}))\}] \quad \dots (2-15)$$

(2-12)、(2-15)式より、出射側のNAは、次式の θ_{NAout} によって決まる。

【0052】

$$-\theta_{out2} \leq \theta_{NAout} \leq -\theta_{out1} \quad \dots (2-16)$$

入射側のNAは、(2-12)、(2-15)式の $\theta_{bend} = 0^\circ$ とし、(2-12)式の θ_{out1} を θ_{in1} に変え、(2-15)式の θ_{out2} を θ_{in2} に変え、次の二式となり、

$$\theta_{in1} = \sin^{-1} (n_1/n_{air} \times \sin \theta_{NA0}) \quad \dots (2-17)$$

$$\theta_{in2} = -\sin^{-1} \{n_1/n_{air} \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0})\} \quad \dots (2-18)$$

(2-12)、(2-15)式より、入射側のNAは、次式の θ_{NAin} によって決まる。

【0053】

$$\theta_{in2} \leq \theta_{NAin} \leq \theta_{in1} \quad \dots (2-19)$$

図15のモデルでは、光の入出力角度が図1のリアプロジェクションディスプレイシステムと逆になっているが、(2-12)、(2-15)、(2-16)式において角度 θ の添え字のoutをinに変えると入力側の角度が図1のシステムと合う以下の三式が成立する。

$$\theta_{in1} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} + \sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin \theta_{NA0})\}] \quad \dots (2-12A)$$

$$\theta_{in2} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} - \sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin((1-1/n) \times \theta_{NA0}))\}] \quad \dots (2-15A)$$

$$\theta_{in2} \leq \theta_{NAin} \leq \theta_{in1} \quad \dots (2-16A)$$

出射側に関しては、(2-17)、(2-18)、(2-19)式より、図1のシステムに合わせた以下の三式が成立する。

【0054】

$$\theta_{out1} = -\sin^{-1}(n_l/n_{air} \times \sin \theta_{NA0}) \quad \dots (2-17A)$$

$$\theta_{out2} = \sin^{-1}\{n_l/n_{air} \times \sin((1-1/n) \times \theta_{NA0})\} \quad \dots (2-18A)$$

$$\theta_{out1} \leq \theta_{NAout} \leq \theta_{out2} \quad \dots (2-19A)$$

(2-19A)式は、光導波路の光軸をスクリーン法線方向まで曲げてしまうと、上下非対称な出射側NAとなることを意味する。そこで、次に、出射側で上下対称なNAを発現させるための、出射側の光導波路の光軸の角度 θ_{axis} を解析により求める。

【0055】

図17は、出射側最後の光導波路（直線型グラジエントインデックス光導波路）4_Lが光軸の角度 θ_{axis} で終わっている部分を描いている。出力NAは、光線15、18の間の角で決まる。よって、図で $\theta_{out3} = \theta_{out4}$ となるとき θ_{axis} が求める光軸の角度である。

θ_{out3} は、光線18について光導波路出射面とP部との界面で成立する(2-20)式およびP部と空気層との界面で成立する(2-21)式より、(2-22)式となる。

【0056】

$$n_l \times \sin \theta_{NA0} = n_g \times \sin \theta_{ng3} \quad \dots (2-20)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{ng3} - \theta_{axis}) = n_{air} \times \sin \theta_{out3} \quad \dots (2-21)$$

$$\theta_{out3} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{\sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin \theta_{NA0}) - \theta_{axis}\}] \quad \dots (2-22)$$

θ_{out4} は、光線15について光導波路出射面とP部との界面で成立する(2-23)式およびP部と空気層との界面で成立する(2-24)式より、(2-25)式となる。

【0057】

$$n_l \times \sin\{(1-1/n) \times \theta_{NA0}\} = n_g \times \sin \theta_{ng4} \quad \dots (2-23)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{ng4} + \theta_{axis}) = n_{air} \times \sin \theta_{out4} \quad \dots (2-24)$$

$$\theta_{out4} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{\sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin((1-1/n) \times \theta_{NA0})) + \theta_{axis}\}] \quad \dots (2-25)$$

よって、(2-22)式=(2-25)式より、求める θ_{axis} は、次式で与えられる。

【0058】

$$\theta_{axis} = 1/2 \times [\sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin \theta_{NA0}) - \sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin((1-1/n) \times \theta_{NA0}))] \quad \dots (2-26)$$

(2-26)式の成立下での出射側NAを決める角は、(2-26)式を(2-22)式または(2-25)式に代入することにより、次式で得られる。求める角を $\theta'_{out3} = \theta'_{out4}$ とすると、

$$\theta'_{out3} = \theta'_{out4} = \sin^{-1} [n_g/n_{air} \times \sin\{1/2 \times \sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin((1-1/n) \times \theta_{NA0})) + 1/2 \times \sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin \theta_{NA0})\}] \quad \dots (2-27)$$

よって、求める上下対称出射側NAを決める角は、(2-27)式より次式となる。

【0059】

$$-\theta'_{out3} \leq \theta_{NAout} \leq \theta'_{out3} \quad \dots (2-28)$$

次に、このモデルの曲率半径の導出を行う。図18に示すように、この折れ線近似モデルでは、直線型グラジエントインデックス光導波路4₁、4₂、4₃、…の長さP/2の各線分の垂直二等分線の交点Oを曲率中心とし、曲率中心Oから各光導波路4₁、4₂

、4 3、・・・の長さおよび厚さの中心点までの距離を曲率半径R（同図より、 $R = r_0 + y_1/2$ ）とする。同図において、頂角 $\theta_{NA0}/(2 \times n)$ の直角三角形に着目すると、次式が成立する。

【0 0 6 0】

$$\tan(\theta_{NA0}/(2 \times n)) = (P/4)/(r_0 + y_1/2) \quad \dots (2-29)$$

(2-29)式より曲率半径Rは次式で与えられる。

$$R = r_0 + y_1/2 = (P/4)/\tan(\theta_{NA0}/(2 \times n)) \quad \dots (2-30)$$

すなわち、折れ線近似モデルの構成要素である直線型グラジエントインデックス光導波路の θ_{NA0} とPを決め、折れる角度（曲がり具合）を決める n （0.5以上の実数）を決めると、(2-30)式により曲率半径が決定する。最小曲率半径 R_{min} は、 $n = 0.5$ の場合であり、(2-30)式に $n = 0.5$ を代入した式と、(2-4)、(2-5)式とから、

$$R_{min} = \pi/(n_1 \times A \times y_1) \quad \dots (2-31)$$

で与えられる。この場合に折れ線近似モデルの誤差が最大となる。一方、詳細な導出過程の説明は割愛するが、同じ厚さと屈折率分布を有する滑らかに曲がったグラジエントインデックス型光導波路（曲線構造モデル）の最小曲率半径 R'_{min} は、

$$R'_{min} = 2/(A \times y_1) \quad \dots (2-32)$$

で与えられる。(2-31)、(2-32)式より、 R'_{min} （厳密解相当）と R_{min} （近似解相当）との誤差ファクタは $\pi/(2 \times n_1)$ であり、これに一般的な光導波路のコア値に近い $n_1 = 1.55$ を代入すると、この誤差ファクタの値は1.0134である。よって、厳密解に対する近似解の誤差は高々1.3%以内であり、折れ線近似モデルは、曲線構造モデルの十分に良い近似であるといえる。

【0 0 6 1】

ところで、光の入射角はフィルム面の法線に対し $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内にあるから、(2-16A)式において、 $\theta_{in2} \geq -90^\circ$ 、 $\theta_{in1} \leq 90^\circ$ であり、この制約と(2-12A)、(2-15A)式とから、入射面付近の層傾き角度 $\theta_{bend-in}$ の条件は、入射面付近での層曲率半径 R_{in} 、層内部での伝播角度 θ_{NA0} および光伝播のピッチPを用いて、以下のように表される。

【0 0 6 2】

$$\theta_{bend-in-min} \leq \theta_{bend-in} \leq \theta_{bend-in-max} \quad \dots (2-33)$$

$$\theta_{bend-in-min} = \sin^{-1}\{n_1/n_g \times \sin(\theta_{NA0} - 2 \times \tan^{-1}(P/(4 \times R_{in})))\} - \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-34)$$

$$\theta_{bend-in-max} = -\sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0}) + \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-35)$$

また、光の出射角もフィルム面の法線に対し $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内にあるから、(2-16)式において、 $\theta_{out2} \geq -90^\circ$ 、 $\theta_{out1} \leq 90^\circ$ であり、この制約と(2-12)、(2-15)式とから、入射面付近の層傾き角度 $\theta_{bend-out}$ の条件は、入射面付近での層曲率半径 R_{out} 、層内部での伝播角度 θ_{NA0} および光伝播のピッチPを用いて、以下のように表される。

【0 0 6 3】

$$-\theta_{bend-out-min} \leq \theta_{bend-out} \leq -\theta_{bend-out-max} \quad \dots (2-36)$$

$$\theta_{bend-out-min} = \sin^{-1}\{n_1/n_g \times \sin(\theta_{NA0} - 2 \times \tan^{-1}(P/(4 \times R_{out})))\} - \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-37)$$

$$\theta_{bend-out-max} = -\sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0}) + \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-38)$$

また、フィルム内の層の曲率半径は、(2-32)式の値が下限となる。

【0 0 6 4】

以上より、グラジエントインデックス型の曲がり導波路では、入射角度領域（ $\theta_{in-min} \sim \theta_{in-max}$ ）内の一入射角で曲がり導波路に入射した光は、その伝播方向を曲がり導波路内で徐々に変化させ、出射角度領域（ $\theta_{out-min} \sim \theta_{out-max}$ ）内の一入射角で出射する。ここに、 θ_{in-min} 、 θ_{in-max} 、 $\theta_{out-min}$ 、 $\theta_{out-max}$ は、次式で与えられる。

$$\theta_{in-min} = \sin^{-1}[n_g/n_{air} \times \sin\{-\sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin(\theta_{NA0} - 2 \times \tan^{-1}(P/(4 \times R_{in})))) + \theta_{bend-in}\}] \quad \dots (2-39)$$

$$\theta_{in-max} = \sin^{-1}[n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend-in} + \sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0})\}] \quad \dots (2-40)$$

$$\theta_{\text{out-min}} = \sin^{-1} [n_g/n_{\text{air}} \times \sin\{-\sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin(\theta_{\text{NA0}} - 2 \times \tan^{-1}(P/(4 \times R_{\text{out}}))) + \theta_{\text{bend-out}}\}] \quad \dots (2-41)$$

$$\theta_{\text{out-max}} = \sin^{-1} [n_g/n_{\text{air}} \times \sin\{\theta_{\text{bend-out}} + \sin^{-1}(n_l/n_g \times \sin \theta_{\text{NA0}})\}] \quad \dots (2-42)$$

上記図13～18のモデルでは、複数の層の長さが等しい場合を想定している。この場合、入射光は拡散されず出射方向のみ変換される。一方、本発明では、層の長さを層ごとにばらつかせることもでき、その場合、層出射時の出射方向を層ごとに变化させることで、入射光の変換方向を変換しつつ拡散させることが可能である。

【0065】

また、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路は、グラジエントインデックス型のような放物線型の屈折率分布をもつもの以外にも、例えば図19に示すような略台形型の屈折率分布をもつもの等、多種多様に存在しうるが、いずれも入射光を層内部に留めて伝播させうるものである以上、グラジエントインデックス型と同様の出射方向変換特性を得ることが可能である。

【0066】

ここでステップインデックス型、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型ともに、曲率半径は導波路入口から出口まで一定である必要はなく、導波路の平均的傾き角度が0.01deg./ μm 未満と緩やかに変化している場合においても同様の光出射方向変換効果を得ることが可能である。ステップインデックス型において層傾き角度が0.01deg./ μm 以上と急激に変化した場合については前述のとおりステップインデックス型の光出射方向変換拡散フィルムとなり、また、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型において層傾き角度が0.01deg./ μm 以上と急激に変化した場合については後述の「ステップインデックス型と層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型とが融合した構造」を有する光出射方向変換拡散フィルムとなる。

【0067】

なお、図2に示すステップインデックス型、図4に示す層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型ともに、図では隣り合う層が接触しているが、隣り合う層が多少離れていても上記と同様に扱うことができる。ただしこの場合は出射方向変換効率が多少低下するものと考えられる。

また、光出射方向変換フィルムに関して、ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが混在する場合（図5）、または、光出射方向変換拡散フィルムに関して、ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが混在する場合（図5）もしくは両型が融合した構造の光導波路アレイの場合についての入射角度領域と出射角度領域は、それぞれの型について導出したものを重ね合わせるにより求めることができる。

〔光学エンジンとのNAマッチング〕

次に、本発明のスクリーンをなす光出射方向変換フィルムまたは光出射方向変換拡散フィルム（以下、本発明フィルムという）と光学エンジンとのNAマッチングについて説明する。

【0068】

スクリーン開口角度 θ_S は、スクリーン最小開口角度 $\theta_{S-\min}$ とスクリーン最大開口角度 $\theta_{S-\max}$ を用いて、 $\theta_S = \theta_{S-\max} - \theta_{S-\min}$ と定義される。光学エンジンのNAとのマッチングをとってプロジェクタ光出射方向を観察者の方向に変換するためには、 θ_S は、図1、図6における $2\theta_2$ 以上でなければならない。すなわち、その条件は前述の(0-1)、(0-2)、(0-3)式より、以下のように表される。

【0069】

$$\theta_S \geq \tan^{-1}\{(l_2 + d/2)/b\} - \tan^{-1}\{(l_2 - d/2)/b\} \quad \dots (0-4)$$

ここで、等号の場合がマッチングした状態に該当する。上記 $\theta_{S-\min}$ および $\theta_{S-\max}$ はそれぞれ本発明フィルムの入射角度領域の下限 $\theta_{\text{in-min}}$ および上限 $\theta_{\text{in-max}}$ に等しい。これ

らは、ステップインデックス型の場合(1-17)、(1-18)式で与えられ、グラジエントインデックス型の場合(2-39)、(2-40)式で与えられる。

【0070】

また、ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが混在する場合は、上記 $\theta_{S-\max}$ として両型の入射角度領域の上限のうち小さい方を採用し、一方、上記 $\theta_{S-\min}$ としては両型の下限のうち大きい方を採用するのがよい。すなわち、ステップインデックス型の光導波路の入射角度領域の下限、上限を $\theta_{STEPin-\min}$ 、 $\theta_{STEPin-\max}$ とし、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路の入射角度領域の下限、上限を $\theta_{GRADin-\min}$ 、 $\theta_{GRADin-\max}$ とすると、次式を満足するように設計するのが望ましい。

【0071】

$$\text{Min}\{\theta_{STEPin-\max}, \theta_{GRADin-\max}\} - \text{Max}\{\theta_{STEPin-\min}, \theta_{GRADin-\min}\} \geq \tan^{-1}\{(l_2 + d/2)/b\} - \tan^{-1}\{(l_2 - d/2)/b\} \quad \cdots (0-5)$$

ここで、 $\text{Max}\{a, b\}$ は a と b のうち大きい方を表し、 $\text{Min}\{a, b\}$ は a と b のうち小さい方を表す。

以上の議論はプロジェクタ光を有効に利用する理想的なものであるが、実際のリアプロジェクションディスプレイにおいても開口数NAで光学エンジンから出射した光の少なくとも50%以上が $\theta_{\min} \sim \theta_{\max}$ の範囲からスクリーンに入射しなければならない。

〔本発明フィルムの製造方法〕

湾曲した導波路アレイ構造を有する本発明フィルムは、異なる屈折率を有する少なくとも2種類の光重合可能なモノマーあるいはオリゴマーからなる混合物に光を照射し、硬化させることで、湾曲していない導波路構造を作製し、それを物理的に湾曲させることで得られる。

【0072】

ここで、光重合可能なモノマーあるいはオリゴマーとは、分子内にアクリロイル基、メタアクリロイル基、ビニル基などの重合可能な基を1個以上有するモノマーまたはオリゴマーである。これら化合物の複数の混合物を基板上に塗布するかまたはセル中に封入し膜状とし、光を照射しながら徐々に硬化させる。

照射する光はモノマーあるいはオリゴマーを含有する組成物を硬化させるものであればどのような波長でもよく、例えば可視光線および紫外線等がよく用いられる。

【0073】

紫外線は水銀ランプやメタルハライドランプ等を用いて照射されるが、棒状ランプを用いた場合はその照射条件を調整することにより、生成したシート状の硬化物に光源の長軸と短軸方向に対し異方性を発現させ、光源の長軸方向を軸として回転させた場合のみ光を拡散させることができる。

このようにして作られたフィルムは、ステップインデックス型の光導波路と層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路とが融合した構造を有する。

【0074】

このフィルムを有機溶剤に浸漬して柔らかくし、物理的に力を加えることで、湾曲していなかった導波路構造を湾曲させ、本発明フィルムとすることが可能である。前記有機溶剤は、フィルムが有する導波路構造を損ねることなく柔らかくさせるものでありさえすれば、いかなるものでもよい。

【実施例1】

【0075】

実施例1では、図20(a)に示すように、屈折率の相異なる層9₁と層9₂とが面内方向に交互に重なって配列した構造を有する光学フィルム9から採取した光学フィルム片9Aを図20(b)に示すように曲げて配置することで、本発明に用いる光出射方向変換拡散フィルムの曲がり導波路構造と光学的に等しい構造を実現した。各層の厚さは2 μ mである。各層は、層境界局所曲率半径をばらつかせたステップインデックス型の光導波路と、層長さをばらつかせたグラジエントインデックス型の光導波路とが融合した構造をも

ち、層厚さ中心部における屈折率が、層 9₁では1.55、層 9₂では1.51である。また、空気界面での全反射を防ぐために、図 20 (b) に示すように、曲げた光学フィルム片 9 A の周辺を屈折率 1.6 の透明媒体 12 で満たした。曲率半径は最小の層でも 4 cm と、(1-16) 式の $R_{\min \text{step}}$ および (2-32) 式の R_{\min} のいずれと比べても十分大きくした。

【0076】

このようにして曲げて配置した光学フィルム片 9 A に、その一端面側から光源 11 を用いて光（入射光 11₁）を入射させる実験を行い、この光が他端面側から出射光 11₂ として出射することを確認した。出射光 11₂ の光強度は入射光 11₁ の光強度と略同等であった。

【実施例 2】

【0077】

実施例 2 では、図 12 に示した実際の薄型リアプロジェクションディスプレイシステムに発明項 1 記載の発明に相当するスクリーン（ステップインデックス型の光出射方向変換フィルム＋拡散フィルム）を適用する場合の光出射方向変換フィルムと光学エンジンとの NA マッチングを行う設計の具体例を示す。

実際のシステムのミラー M1、M3 と非球面ミラー M2 を外して展開した光学系は図 6 のようになる。

【0078】

実際のシステムでは図 12 に示すように、光はスクリーン 10 の裏でミラー M1、M2 および非球面ミラー M2 により 3 回方向を変え、光学エンジン 20 出力光は直前のミラー M1 で横に曲げられる。実際のシステムの奥行き（ミラー M3 とスクリーン 10 の面間距離）を 20 cm、スクリーン 10 の高さを 1 m、レンズとミラー M1 の中心間距離を 40 cm とすると、図 6 の展開光学系では、 $b = 20 \text{ cm} \times 3 + 40 \text{ cm} = 1 \text{ m}$ 、 $S_2 = 1 \text{ m}$ である。DMD チップからなる画像表示パネル 21 の縦長さ（＝図 6 の S_1 ）を 2.5 cm とすると、倍率 $S_2/S_1 = 1 \text{ m}/2.5 \text{ cm} = 40 = b/a = 1 \text{ m}/a$ より、 $a = 2.5 \text{ cm}$ であり、 $1/a + 1/b = 1/f$ より、レンズの焦点距離 $f = 2.44 \text{ cm}$ である。レンズ口径 d は 2.4 cm とした。 $l_1 = 30 \text{ cm}$ とすると、 $l_2 = l_1 + S_2 = 130 \text{ cm}$ である。

【0079】

これで光学系のパラメータが決定したので、(0-2) 式、(0-3) 式より、図 6 の θ_1 、 θ_0 は、 $\theta_1 = 52.474^\circ$ 、 $\theta_0 = 16.066^\circ$ となる。光学系のシステムの出力 NA を決める角 θ_{opt} の範囲は、 θ_0 以上 θ_1 以下である。この範囲と光出射方向変換フィルムの入力角度範囲が一致すれば NA マッチングが成立する。

ステップインデックス型の光出射方向変換フィルムの入力角度範囲は、(1-12) 式より、 $\theta_{\text{in}4}$ 以上 $\theta_{\text{in}5}$ 以下であるから、NA マッチング成立条件は、 $\theta_{\text{in}4} = \theta_0 = 16.066^\circ$ 、 $\theta_{\text{in}5} = \theta_1 = 52.474^\circ$ である。

【0080】

次に、 θ_{bend} ($\theta_{\text{bend-in}}$ に該当) を計算する。 θ_{bend} は、(1-9) 式の $-\theta_{\text{in}4}$ を $+\theta_{\text{in}4}$ とした式と (1-11) 式とから導出される次式で計算される。

$$\theta_{\text{bend}} = 1/2 \times [\sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_g \times \sin \theta_{\text{in}4}) + \sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_g \times \sin \theta_{\text{in}5})] \cdots (1-21)$$

この式を用いて、 $\theta_{\text{in}4}$ 、 $\theta_{\text{in}5}$ を上記各値とし、 $n_g = 1.5$ 、 $n_{\text{air}} = 1.0$ として計算すると、 $\theta_{\text{bend}} = 21.275^\circ$ となる。

【0081】

次に、曲がり導波路の曲率半径を計算する。この計算では、(1-11) 式を変形して得られる次式：

$$\sin[\cos^{-1}\{n_g/n_1 \times \sin(\sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_g \times \sin \theta_{\text{in}5}) - \theta_{\text{bend}})\}] = n_2/n_1 \times (1 + y_1/r_0) \cdots (1-11B)$$

に $\theta_{\text{in}5}$ 、 θ_{bend} 、 n_g 、 n_{air} 、 n_1 、 n_2 、 y_1 (光導波路の幅＝層の厚さ) の値を入れて r_0 を計算し、 $R = r_0 + y_1/2$ より、曲率半径を求める。 $\theta_{\text{in}5}$ 、 θ_{bend} 、 n_g 、 n_{air} を上

記各値とし、 $n_1 = 1.55$ 、 $n_2 = 1.51$ 、 $y_1 = 4 \mu m$ として r_0 を求めると、 $r_0 = 401.617 \mu m$ となる。よって、曲率半径は、 $R = r_0 + y_1/2 = 403.617 \mu m$ となる。

【0082】

また、フィルムの厚さ t_f は、 θ_{bend} を用いると図21より $(r_0 + y_1) \times \sin \theta_{bend}$ であるので、 $t_f = (r_0 + y_1) \times \sin \theta_{bend} = 147.2 \mu m$ である。

一方、出力側のNAは、(1-5)式で決まるので、(1-5)式に上で求めた r_0 とその他のパラメータを代入すると、 $\theta_{out2} = 16.084^\circ$ となる。よって(1-6)式より、出力側NAを決める角の範囲は、 $-16.084^\circ \leq \theta_{NAstep} \leq +16.084^\circ$ となる。

【実施例3】

【0083】

実施例3では、実施例2と同じ薄型リアプロジェクションディスプレイシステムに発明項2記載の発明に相当するスクリーン（グラジエントインデックス型の光出射方向変換フィルム＋拡散フィルム）を適用する場合の光出射方向変換フィルムと光学エンジンとのNAマッチングを行う設計の具体例を示す。

光学系のシステムの出力NAを決める角 θ_{opt} の範囲は、実施例2と同じ $\theta_0 (= 16.066^\circ)$ 以上 $\theta_1 (= 52.474^\circ)$ 以下である。この範囲と光出射方向変換フィルムの入力角度範囲が一致すればNAマッチングが成立する。

【0084】

グラジエントインデックス型の光出射方向変換フィルムの入力角度範囲は、(2-16A)式より、 θ_{in2} 以上 θ_{in1} 以下であるから、NAマッチング成立条件は、 $\theta_{in2} = \theta_0 = 16.066^\circ$ 、 $\theta_{in1} = \theta_1 = 52.474^\circ$ である。

次に、 θ_{bend} ($\theta_{bend-in}$ に該当)を計算する。 θ_{bend} は、(2-12A)式を変形してなる次式で計算される。

【0085】

$$\theta_{bend} = \sin^{-1} (n_{air}/n_g \times \sin \theta_{in1}) - \sin^{-1} (n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0}) \cdots (2-12B)$$

ここで、 θ_{NA0} は(2-5)式： $\theta_{NA0} = \tan^{-1} (n_1 \times \sqrt{A} \times y_1/2)$ で計算され、(2-5)式中のAは(2-2)式： $A = (8/y_1^2) \times (n_1 - n_2)/n_1$ で計算される。

(2-2)式に $y_1 = 4 \mu m$ 、 $n_1 = 1.55$ 、 $n_2 = 1.51$ を代入すると、 $A = 1.290 \times 10^{10}$ となる。該A値および前記 y_1 、 n_1 値を(2-5)式に代入すると、 $\theta_{NA0} = 19.397^\circ$ となる。そこで、該 θ_{NA0} 値、前記 θ_{in1} 、 n_1 値および $n_g = 1.5$ 、 $n_{air} = 1.0$ を(2-12B)式に代入し、 $\theta_{bend} = 11.848^\circ$ が決定する。

【0086】

次に、nを決定する。nは、(2-15A)式を変形してなる次式を用いて計算される。

$$n = \theta_{NA0} / [\theta_{NA0} - \sin^{-1} \{n_g/n_1 \times \sin \{ \theta_{bend} - \sin^{-1} (n_{air}/n_g \times \sin \theta_{in2}) \} \}] \cdots (2-15B)$$

(2-15B)式に、該式中のパラメータ対応分の前記各値を代入し、 $n = 1.0646$ が決定する。

【0087】

次に、曲がり導波路の曲率半径を計算する。この計算では、(2-4)式： $P = 2 \times \pi / \sqrt{A}$ に前記A値を代入して、 $P = 55.32 \mu m$ を得、該P値と前記 θ_{NA0} 、n値を(2-30)式： $R = r_0 + y_1/2 = (P/4) / \tan (\theta_{NA0} / (2 \times n))$ に代入し、曲率半径 $R = 86.247 \mu m$ が決定する。

また、フィルムの厚さ t_f は、 θ_{bend} を用いると図21より $(r_0 + y_1) \times \sin \theta_{bend}$ であるので、 $t_f = (r_0 + y_1) \times \sin \theta_{bend} = 18.1185 \mu m$ （ただし $\theta_{bend-out} = 0^\circ$ の場合）である。

【0088】

一方、出力側NAは、上下対称出力で設計する。出力側光軸角度 $\theta_{axis} (= \theta_{bend-out})$ は、(2-26)式に、該式中のパラメータ対応分の前記各値を代入することにより、 $\theta_{axis} (= \theta_{bend-out}) = 9.4273^\circ$ となる。よって、(2-27)式より、 $\theta'_{out3} = \theta'_{out4} =$

16.084°となる。よって、(2-28)式より、この光出射方向変換フィルムの上下対称出力NAを決める角の範囲は、 $-16.084^{\circ} \leq \theta_{NAout} \leq 16.084^{\circ}$ となる。

【産業上の利用可能性】

【0089】

本発明は、リア（またはフロント）プロジェクションディスプレイ用スクリーンの設計・製造に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図1】本発明のスクリーンの一例およびそれを用いたリアプロジェクションディスプレイシステム光学系の一例を示す側断面模式図である。

【図2】湾曲した光導波路アレイがステップインデックス型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。

【図3】角度の符号と回転方向との対応づけの説明図である。

【図4】湾曲した光導波路アレイが層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。

【図5】ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが、(a)フィルム厚さ方向に混在する例、および(b)フィルム面内方向に混在する例を示す模式図である。

【図6】NAに対応する角度範囲と、レンズの直径、焦点距離、結像倍率、結像位置との関係を示す説明図である。

【図7】ステップインデックス光導波路曲線構造モデルの説明図である。

【図8】図7のモデルがフィルム中に形成した状態を示す説明図である。

【図9】図7のモデルがフィルム中に形成した状態を示す説明図である。

【図10】プロジェクションディスプレイシステム光学系の薄型化についての説明図である。

【図11】プリズムを用いた従来技術の概念図である。

【図12】薄型リアプロジェクションディスプレイシステムの例を示す(a)側面図および(b)平面図である。

【図13】直線型グラジエントインデックス光導波路の定義説明図である。

【図14】直線型グラジエントインデックス光導波路内のNAを決定する角度の導出を示す説明図である。

【図15】グラジエントインデックス型の曲がり導波路の折れ線近似モデルの説明図である。

【図16】図15のモデルがフィルム中に形成した状態を示す説明図である。

【図17】グラジエントインデックス型曲がり導波路の出射側で上下対称なNAを発現させる光軸の角度解析の説明図である。

【図18】グラジエントインデックス型曲がり導波路の折れ線近似モデルの曲率半径を示す説明図である。

【図19】放物線型以外に層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布の例を示す説明図である。

【図20】実施例1に用いた光学フィルムの概要(a)と該光学フィルムから作製した曲がり導波路を用いて出射方向を変換させる実験要領(b)を示す説明図である。

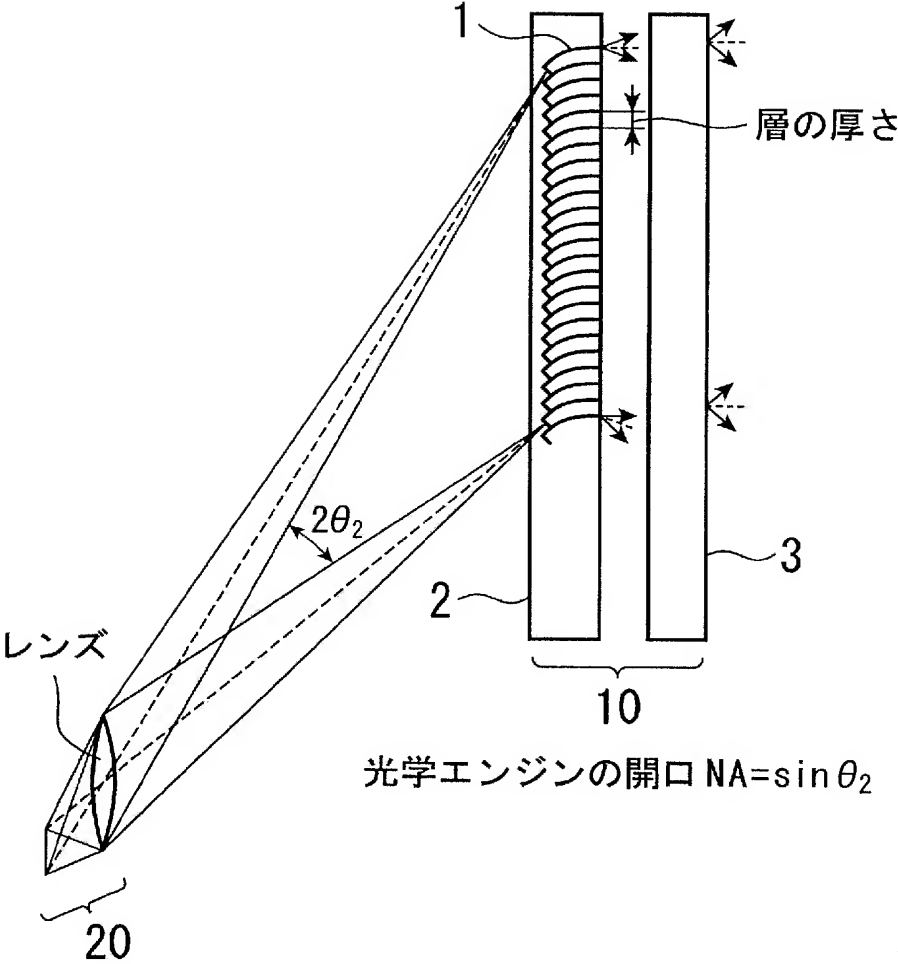
【図21】フィルムの厚さの算出方法を示す説明図である。

【符号の説明】

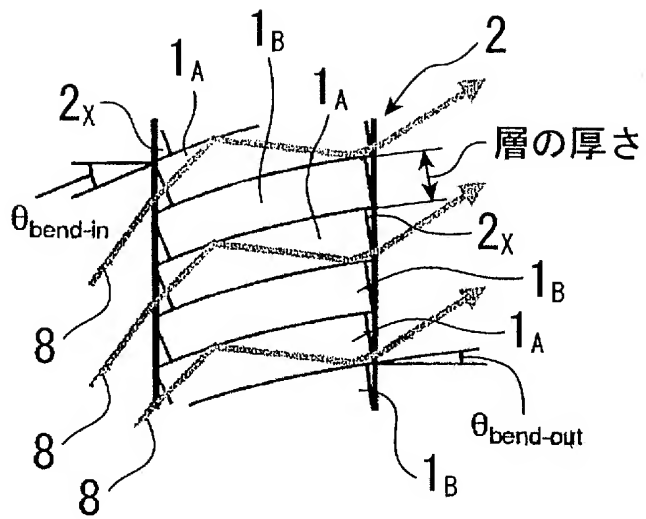
【0091】

- 1 層（湾曲した光導波路＝曲がり導波路）
- 1A 層（コア）
- 1B 層（クラッド）
- 1C 層（層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する層）
- 2 光出射方向変換フィルム

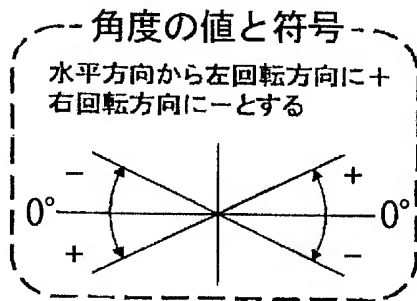
2 X 残部（光導波路以外のフィルム部分）
3 拡散フィルム
4、4 1、4 2、4 3、4 4、4 L 直線型グラジエントインデックス光導波路
5、6、7、8、1 5、1 6、1 7、1 8 光線
9 光学フィルム
9 1、9 2 層
9 A 光学フィルム片
1 0 スクリーン
1 0 A スクリーン光軸
1 1 光源
1 1 1 入射光
1 1 2 出射光
1 2 透明媒体
2 0 プロジェクタ（光学エンジン）
2 0 A プロジェクタ光
2 1 物体（画像表示パネル）
3 0 プリズム
4 0 屈折
5 0 全反射
M 1、M 3 ミラー
M 2 非球面ミラー



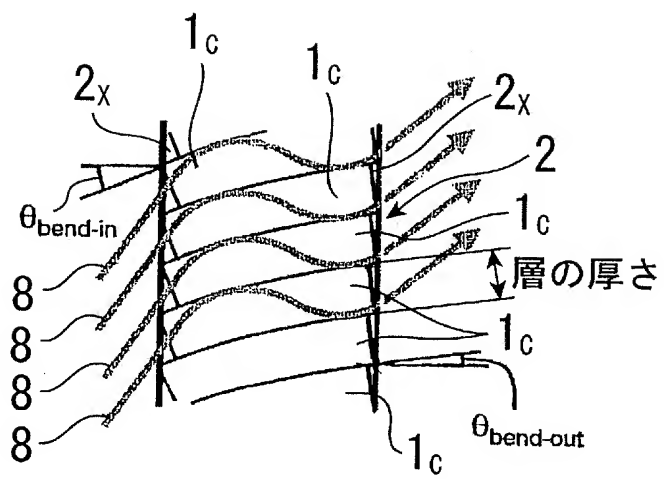
【図 2】



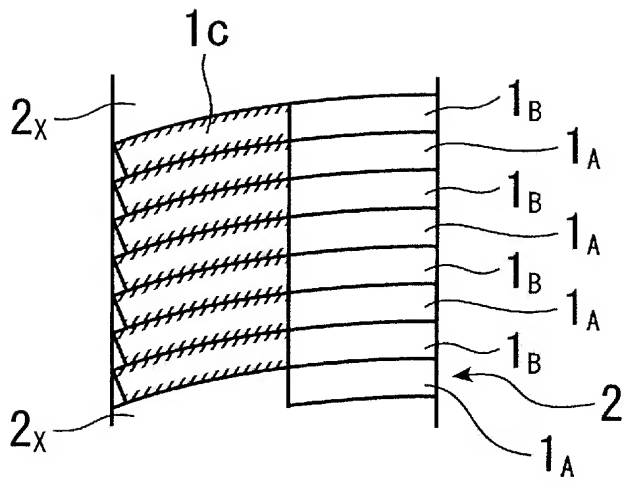
【図 3】



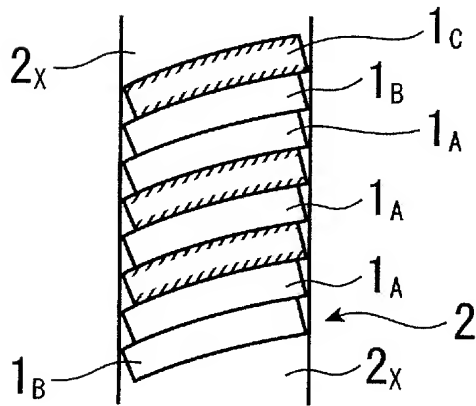
【図 4】



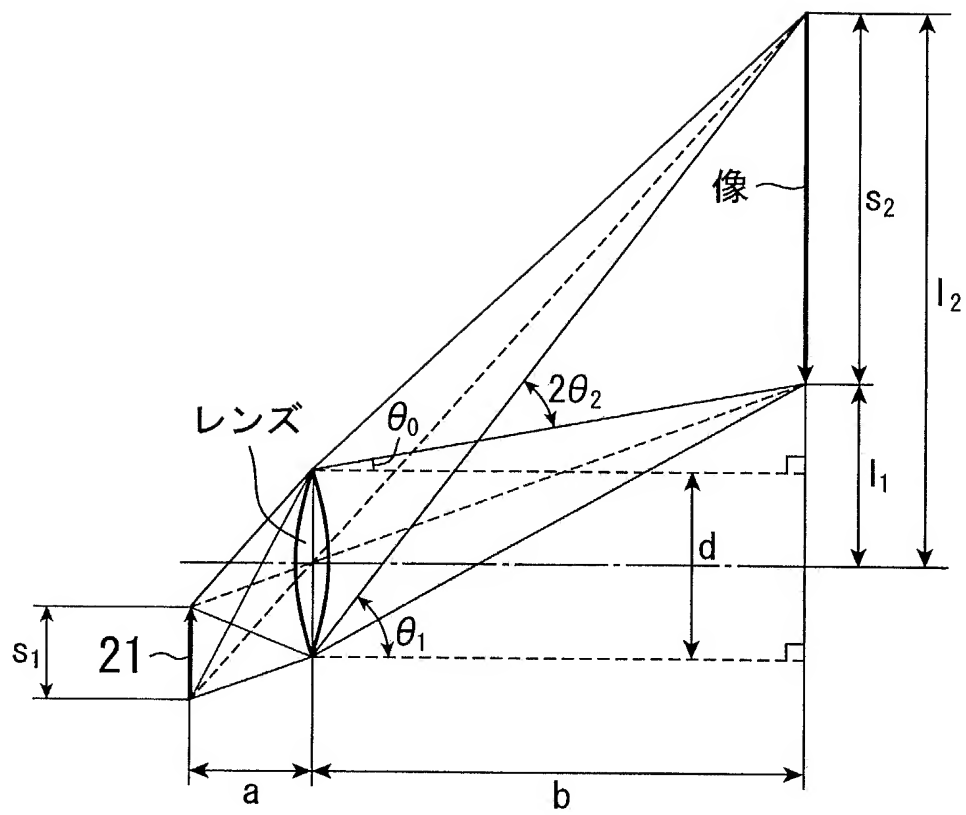
(a)

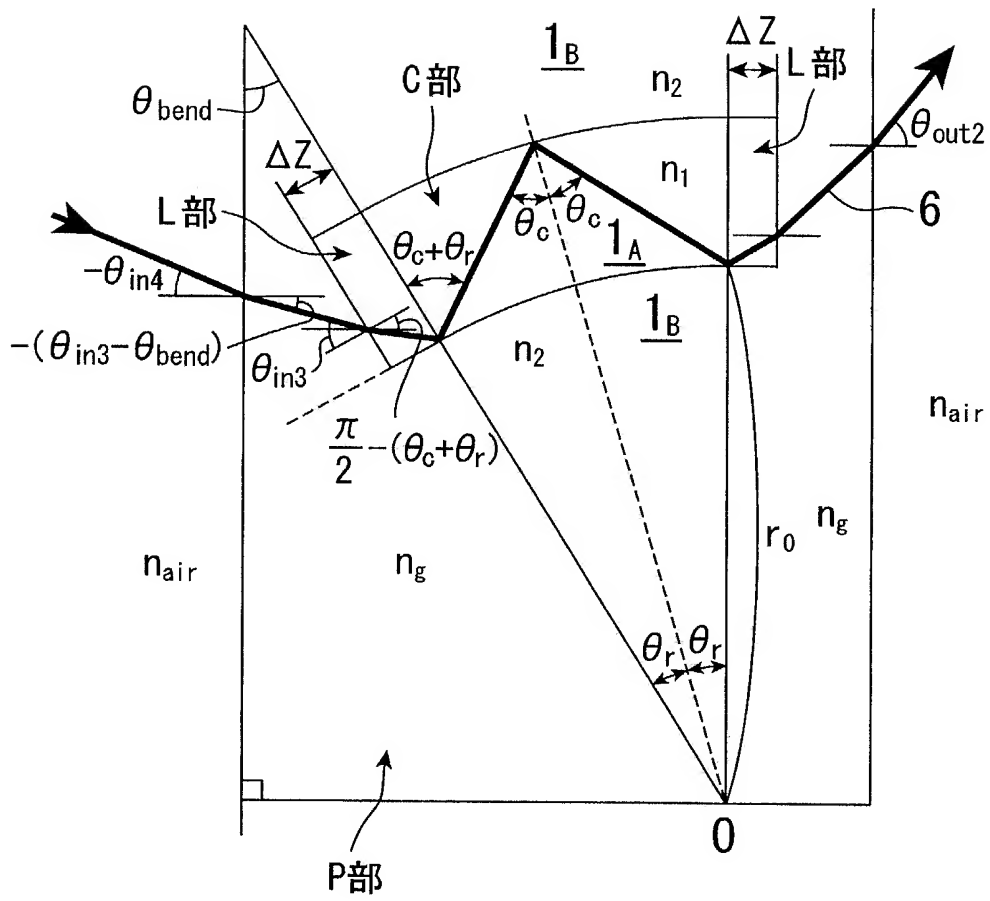


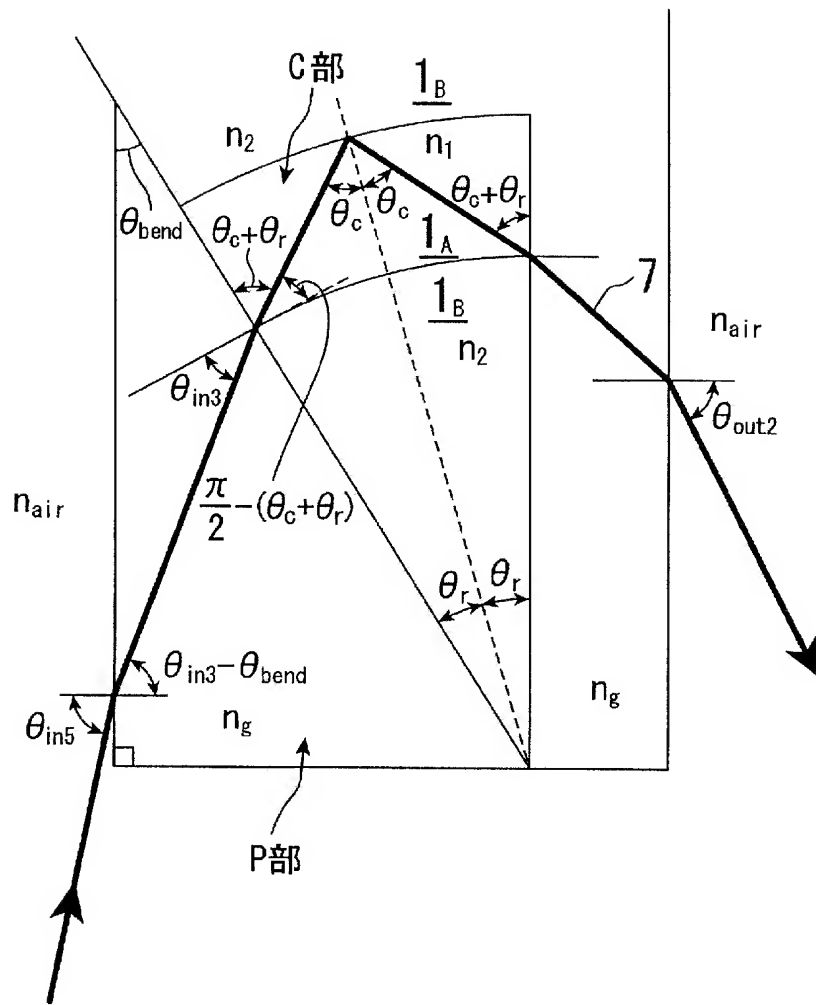
(b)



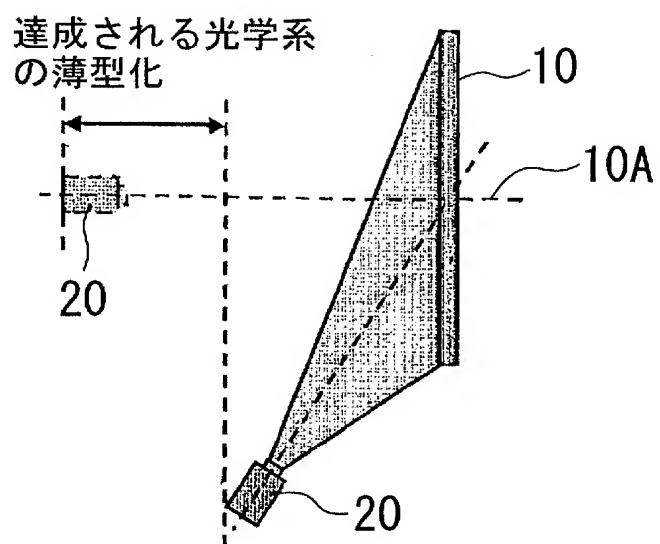
【図 6】



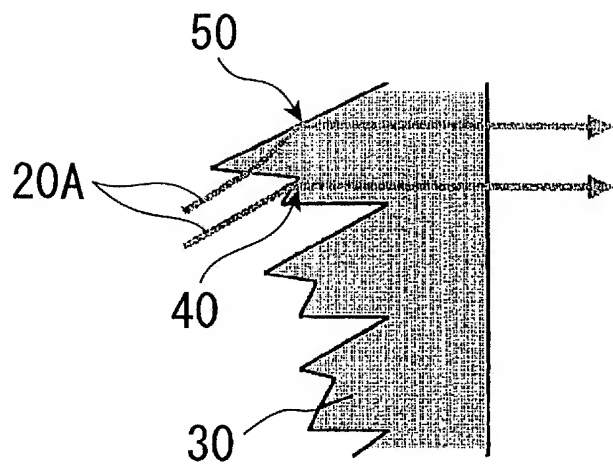




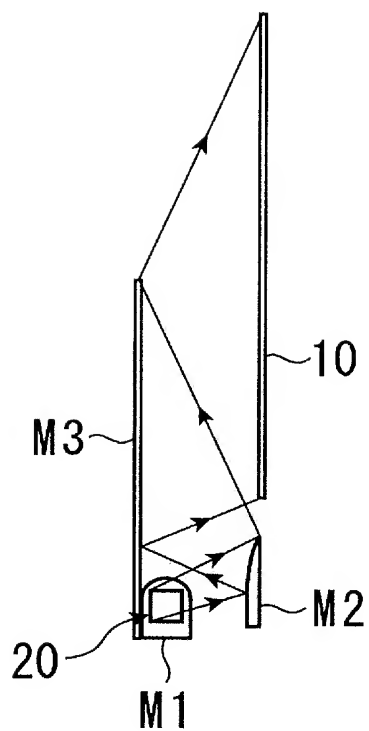
【図 1 0】



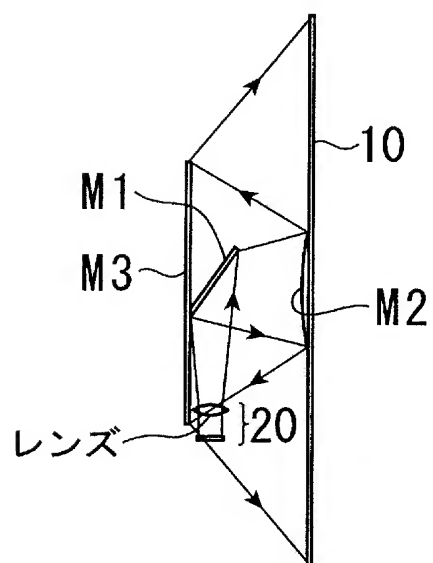
【図 1 1】

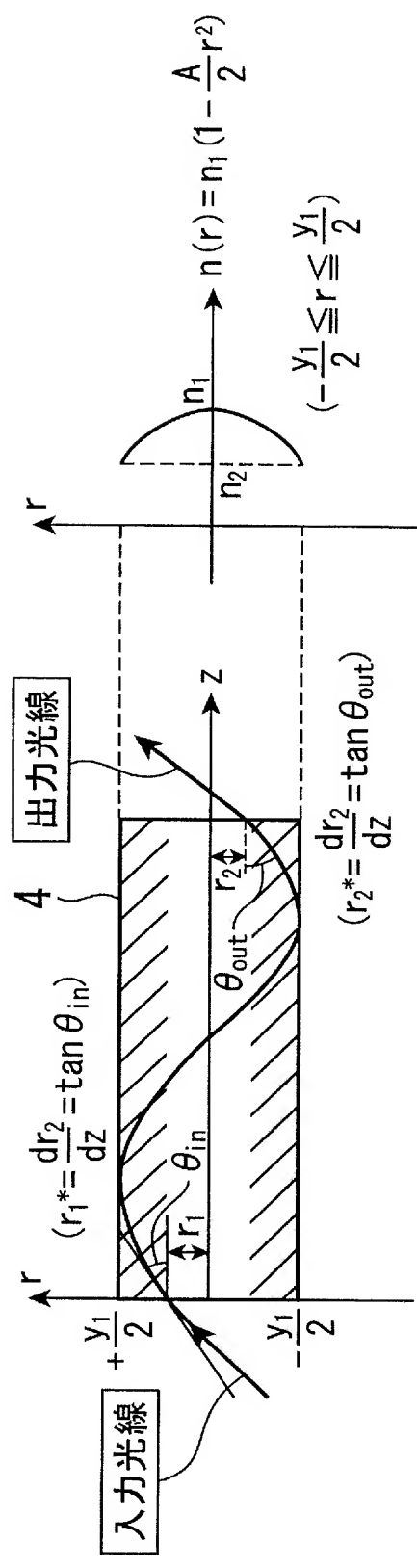


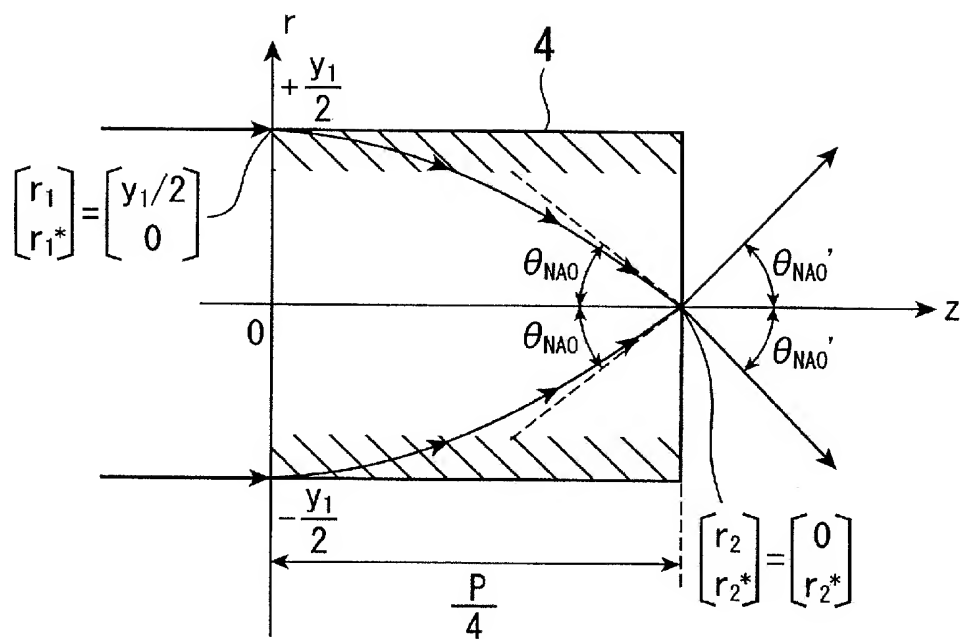
(a)

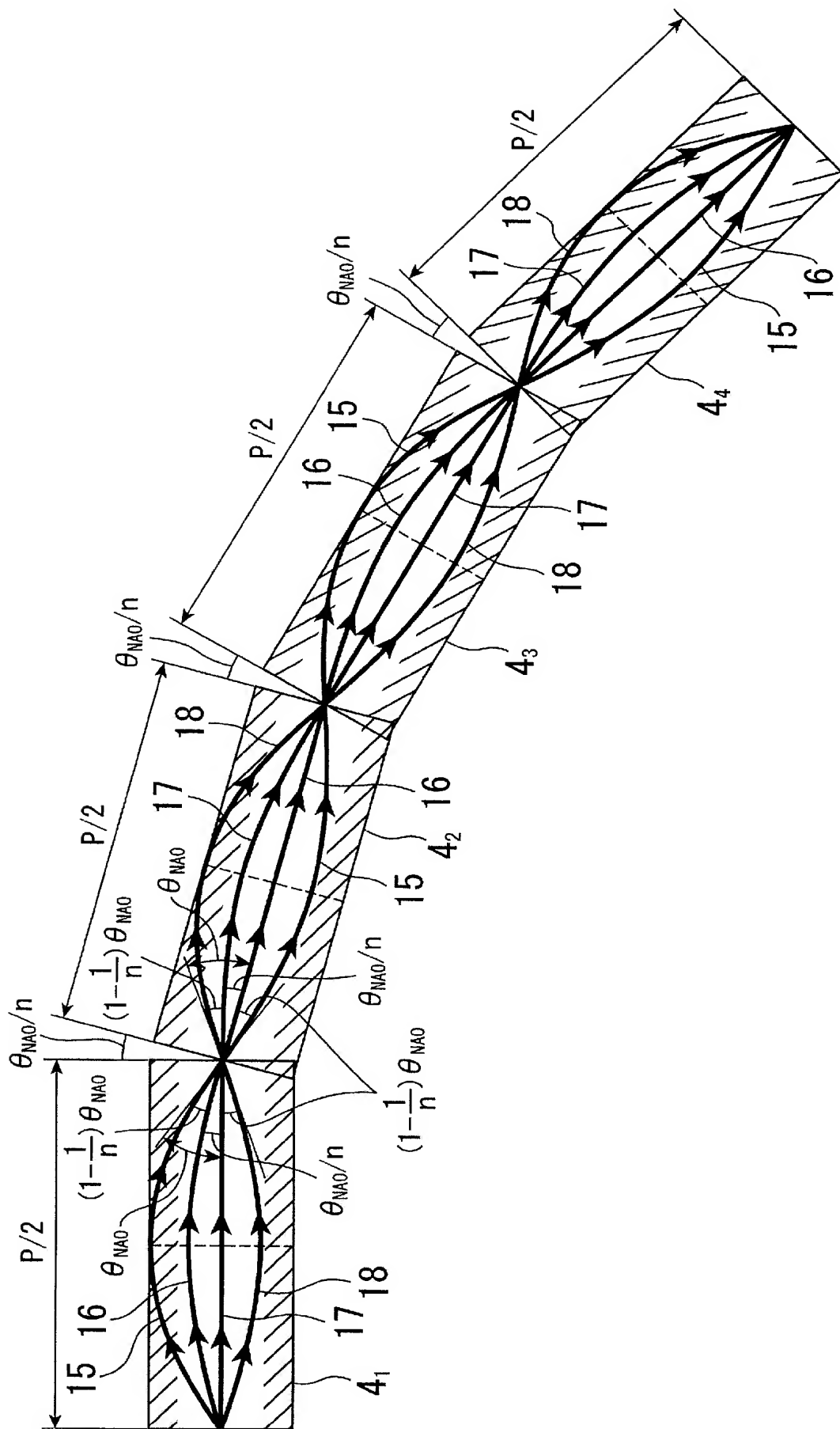


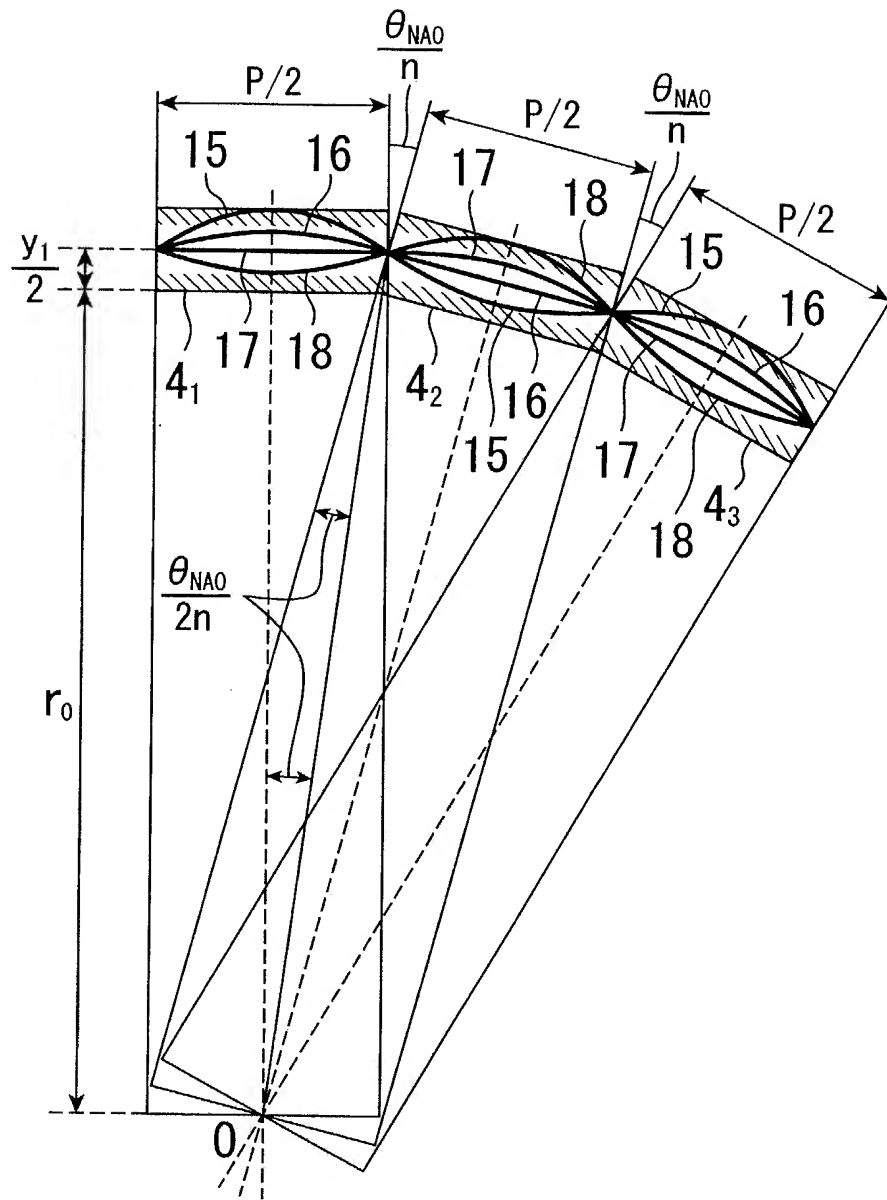
(b)

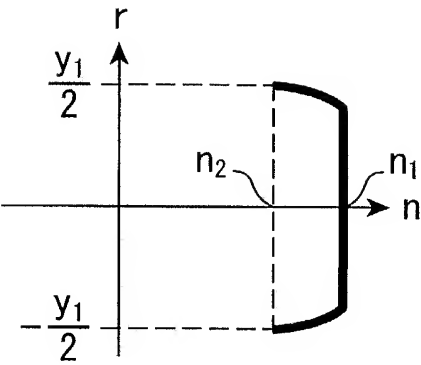




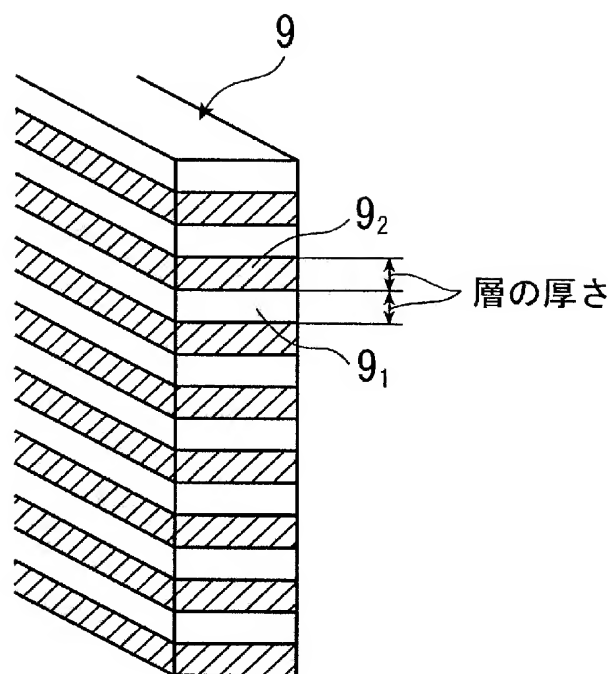




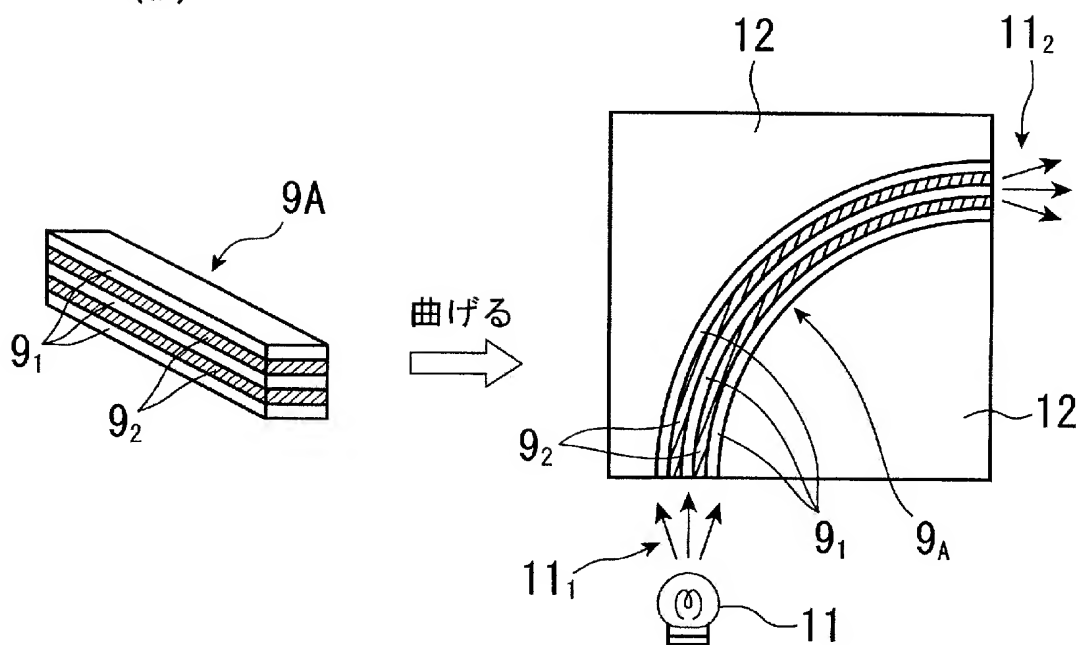




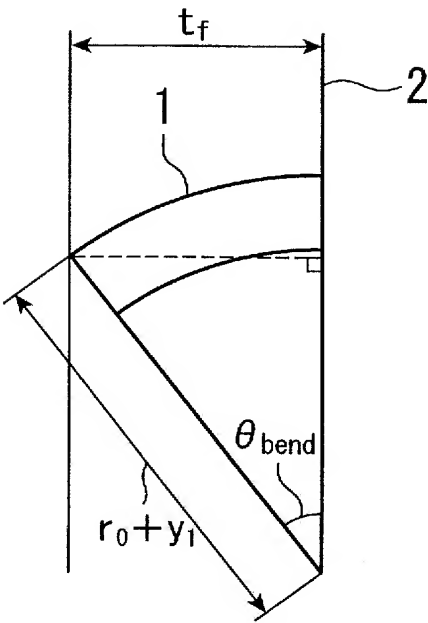
(a)



(b)



【図 2 1】



【書類名】 要約書

【要 約】

【課 題】 複雑な界面に起因する画像のゴーストやコントラスト比の低下を生じさせることなく、かつ出射方向変換効率が高く、出射方向変換角度に限界を有さない光出射方向変換素子の実現を目標とし、それをスクリーンとして用いた薄型高品位プロジェクションディスプレイの提供を目指した。

【解決手段】 拡散フィルム3と、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルム2とからなるスクリーン10において、前記光出射方向変換フィルムを、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型および/または層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路をなす複数の層1がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有するものとした。

【選択図】

図1

出願人履歴

5 0 4 1 5 7 0 2 4

20040420

新規登録

宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号

国立大学法人東北大学

5 9 2 2 3 5 0 0 8

19921113

新規登録

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉無番地

株式会社東北テクノブレインズ